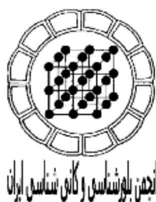
مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران

سال بیست و سوم، شمارهٔ سوم، پاییز ۹۴، از صفحهٔ ۶۰۹ تا ۶۲۲



بررسی خاستگاه و زمین دما-فشارسنجی توده‌های گرانودیوریتی و گرانیتی شاه‌جهان: با کاربرد داده‌های ایزوتوپ ناپایدار، سن‌سنجی و ژئوشیمی

شهره حسن‌پور، محبوبه جمشیدی بدر*

گروه زمین‌شناسی، دانشگاه پیام نور، صندوق پستی ۳۶۹۷-۱۹۳۹۵ تهران، ایران

(دریافت مقاله: ۹۳/۷/۲۵ ، نسخه نهایی: ۹۳/۱۰/۱۷)

چکیده: توده‌های گرانودیوریتی و گرانیتی شاه‌جهان بخشی از توده‌ی گرانیتوئیدی اردوباد است که در شمال غرب ایران و در ۱۰ کیلومتری جنوب رودخانه مرزی ارس و در منطقه ساختاری البرز-آذربایجان قرار گرفته است. توده‌ی گرانودیوریتی دارای بافت ریز دانه ای با کانی‌های پلاژیوکلاز با ترکیب آندزین، فلدسپار پتاسیم با ترکیب ارتوز، آمفیبول با ترکیب مگنزوهورنبلند، بیوتیت، اسفن و مگنتیت است و فراوانی کانی‌های فلدسپار پتاسیم در توده‌ی گرانودیوریتی نسبت به توده‌ی گرانیتی کمتر است. نسبت $^{87}Sr/^{86}Sr$ اولیه در توده‌ی گرانودیوریتی ۰٫۷۰۴۴۸۶ و در توده‌ی گرانیتی ۰٫۷۰۴۴۳۲ و مقدار εNd در این توده‌ها مثبت است که گویای خاستگاه گوشته‌ای و محیط‌های فرورانشی است. سن جایگیری توده‌ی گرانودیوریتی و گرانیتی بر مبنای نتایج سن‌سنجی به‌روش Ar-Ar بر روی کانی بیوتیت، به زمان ائوسن وابسته است. بر مبنای شیمی کانی‌های بیوتیت، آمفیبول و ژئوشیمی سنگ کل، شبه رخشان و جزء گرانیت‌های نوع I و از نظر سری ماگمایی جزء سری آهکی- قلیایی هستند. بی‌هنجاری‌های منفی Nb و Ti در نمودارهای بهنجار شده، گویای شکل‌گیری این توده‌ها در مناطق فرورانشی است. جای‌گیری توده‌ی گرانودیوریتی بر مبنای زمین دما- شیمی در دمای بین ۷۵۳ تا ۷۷۷ درجه‌ی سانتی‌گراد و در فشار بین ۱٫۰۸ تا ۱٫۹۱ کیلوبار است.

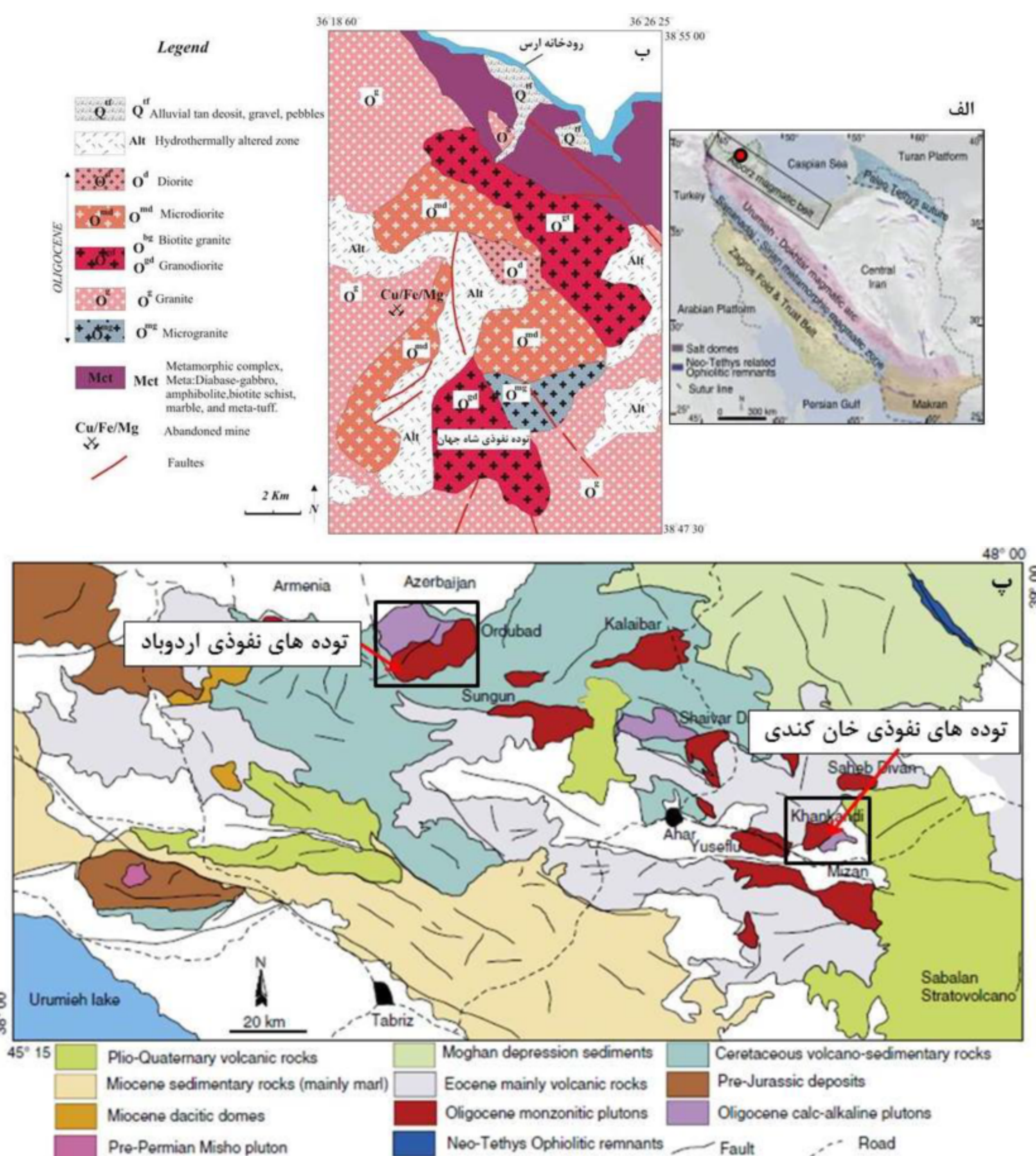
واژه‌های کلیدی: *توده‌ی گرانودیوریتی و گرانیتی؛ ایزوتوپ ناپایدار؛ سال سنجی؛ دما-فشارسنجی؛ شیمی کانی؛ شاه جهان.*

مقدمه

باتولیت گرانیتوئیدی اردوباد با مساحتی بالغ بر ۱۵۰۰ km^2 در دوسوی رودخانه مرزی ارس در شمال غرب ایران و در کشورهای همسایه (جمهوری ارمنستان و نخجوان) برونزد دارد. بخش اصلی این باتولیت در ایران (شمال استان آذربایجان شرقی) با وسعت ۳۵۰km^2 رخنمون دارد، وسیع‌ترین توده‌ی گرانیتوئیدی منطقه‌ی فلز زایی Cu-Mo-Au را تشکیل می‌دهد [۲،۱]. باتولیت‌های گرانیتوئیدی اردوباد حواشی فعال قاره‌ای، حاصل تزریق و تبلور جدایشی ضربه‌های متعدد ماگمایی طیفی از بازی (گابرو) تا اسیدی (گرانیت) با برتری فازهای گرانودیوریتی- کوارتزمونزونیتی (بیش از ۵۰٪ باتولیت) برونزد دارند [۲]. از نظر ساختاری بخشی از منطقه‌ی البرز-آذربایجان محسوب می‌شوند (شکل ۱ الف) [۴،۳]. کمربند آتشفشانی سنوزوئیک البرز که در شمال ایران راستای شرقی - غربی دارد، به‌وسیله‌ی گسل N-S رشت - تاکستان به دو بخش شرقی و غربی تقسیم شده است. بخش غربی آن که به‌عنوان کمربند آتشفشانی البرز - آذربایجان نامیده می‌شود [۵] شامل گدازه‌های آندزیتی تا داسیتی و تعداد زیادی از توده‌های گرانیتوئیدی با سرشت آهکی- قلیایی بوده (شکل ۱ الف، پ) و حاوی ذخایر مختلفی از پورفیری‌های مس، مولیبدن، طلا و کانسارهای آهن است که در بخش شرقی یافت نشده‌اند. به عقیده‌ی عزیزی و جهانگیری [۵] کمربند آتشفشانی البرز - آذربایجان ارتباطی با فرورانش اقیانوس نئوتتیس زاگرس به زیر صفحه‌ی ایران مرکزی ندارند و به‌وسیله‌ی گسل تبریز از پلیت

* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۲۵۳۵۷۵۱۳، نمابر: ۰۲۶۴۵۳۸۳۲۴۴، پست الکترونیکی: m_jamshidi@pnu.ac.ir

ایران در جنوب جدا می شود و به سمت مرزهای شمالی ایران تا درون ارمنستان و قفقاز ادامه می‌یابد [۶]. توده‌های نفوذی گرانودیوریتی و گرانیتی شاه جهان که در بخش مرکزی باتولیت بزرگ اردوباد و تقریباً در فاصله ۳۰ الی ۳۵ کیلومتری (فاصله هوایی) از معادن مس پورفیری (Cu±Mo) سونگون، هفت چشمه و در فاصله‌ی ۱۰ کیلومتری جنوب رودخانه مرزی ارس برونزد دارند، و در شمال شرق نقشه‌ی زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ سیه رود قرار گرفته‌اند (شکل ۱ ب، پ). تعیین خاستگاه و سن توده‌های نفوذی گرانودیوریتی و گرانیتی شاه جهان که بخشی از باتولیت اردوباد هستند، در تعیین محیط زمین‌ساختی این منطقه می‌توانند نقش مهمی داشته باشند. به‌دلیل خاصیت مناسب در تشکیل توده‌های گرانودیوریتی شاه جهان، از شیمی کانی‌های آمفیبول و پلاژیوکلاز، از این کانی‌ها در تعیین دما و فشار و از شیمی کانی‌های بیوتیت و آمفیبول برای تعیین محیط زمین‌ساختی این منطقه استفاده شد. در اینجا نتایج حاصل از شیمی کانی‌ها با نتایج شیمی سنگ کل مقایسه شده‌اند [۷-۱۹].



شکل ۱ الف) نقشه‌ی زمین‌ساختی ایران توده‌های نفوذی شاه‌جهان در روی نقشه با علامت قرمز در منطقه‌ی ساختاری البرز-آذربایجان نشان داده شده است، اقتباس از [۳]، ب) نقشه‌ی زمین‌شناسی خلاصه شده منطقه‌ی اردوباد که توده‌ی نفوذی گرانیتی نشان داده شده است اقتباس از نقشه‌ی ۱/۱۰۰۰۰۰ سیه رود [۴]، پ) موقعیت توده‌های نفوذی منطقه اردوباد نسبت به توده‌های نفوذی خان کندی [۳].

روش بررسی

برای بررسی خاستگاه توده‌های گرانودیوریتی و گرانیتی شاه جهان، نتایج تعیین داده‌های ایزوتوپ‌های ناپایدار $^{87}Sr/^{86}Sr$ و $^{143}Nd/^{144}Nd$ مورد بررسی قرار گرفت و سن جایگیری توده‌های نفوذی نیز با روش آرگون - آرگون به‌وسیله‌ی کانی بیوتیت مشخص شده است، بررسی‌های ایزوتوپی و تعیین سن در آزمایشگاه علوم زمین دانشگاه بریتیش کلمبیای[1] کانادا انجام شده است (جدول ۱ و ۲).

از آنالیز ریز پردازشی الکترونی[2] برای بررسی شیمی کانی‌های پلاژیوکلاز، فلدسپار پتاسیم، آمفیبول، بیوتیت، اسفن و کانی‌های فلزی توده‌ی نفوذی گرانودیوریتی و از آنالیز ICP[3] برای تعیین شیمی سنگ کل ۲ نمونه از توده‌ی نفوذی گرانودیوریتی و ۳ نمونه از توده‌ی نفوذی گرانیتی استفاده شدند (جدول‌های ۳ و ۴). ریز پردازش الکترونی در آزمایشگاه بخش علوم زمین، دانشکده علوم، دانشگاه ماساریک جمهوری چک[4] و شیمی سنگ کل در آزمایشگاه امدل استرالیا[5] انجام گرفت.

بحث

سنگ‌نگاری و شیمی کانی‌ها

توده‌های نفوذی گرانودیوریتی و گرانیتی شاه جهان، در بررسی‌های ماکروسکوپی دارای کانی‌های پلاژیوکلاز، فلدسپار پتاسیم، کوارتز و نیز کانی‌های مافیک آمفیبول، بیوتیت و کانی‌های فرعی فلزی و تیتانیت هستند. از نظر بافتی، بافت عمومی این توده‌ها دانه‌ای بوده ولی در توده‌ی گرانودیوریتی، بافت غالب از نوع ریزدانه و در توده‌ی گرانیتی، بافت پرتیت، آنتی پرتیت است. توده‌ی نفوذی گرانودیوریتی به رنگ خاکستری تا خاکستری نسبتاً تیره و بافت میان دانه تا ریز بلورند. توده‌های نفوذی گرانیتی نسبت به گرانودیوریت‌ها دارای ضریب رنگی روشن‌تر بوده و فراوانی کانی‌های مافیک مثل کانی‌های آمفیبول و بیوتیت در آن‌ها کمتر است.

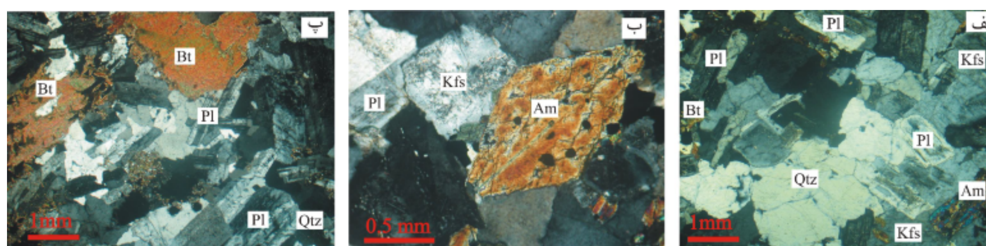
توده‌ی نفوذی گرانودیوریتی شاه جهان در بررسی میکروسکوپی گویای حضور بافت‌های میان دانه تا ریز بلور و حضور کانی‌های روشن پلاژیوکلاز با فراوانی ۶۰ تا ۷۰٪ شکل‌دار تا نیمه‌شکل‌دار با ترکیب آندزین (X_{Ab} = ۰٫۵۹ -۰٫۶۲)، با ماکل پلی‌سنتتیک، و در برخی موارد توام با ماکل کارلسباد و با منطقه بندی مشاهده می‌شوند. ارتوز با فراوانی کمتر از ۱۵٪، کوارتز اغلب بی‌شکل و با فراوانی ۱۰٪ تا ۲۰٪ دیده می‌شوند. در رده‌بندی مدی، توده‌ی نفوذی شاه جهان در گستره‌ی گرانودیوریت قرار می‌گیرد و در بعضی از نمونه‌ها به‌دلیل کاهش فراوانی کانی‌های کوارتز و ارتوز در گستره‌ی کوارتز دیوریت و دیوریت دیده می‌شود. فراوان‌ترین کانی فرومنیزین در این توده عبارت است از آمفیبول سبز، گاه با فراوانی ۱۵-۵٪ با بلورهای شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار لوزی مانند یا ستونی کشیده و کوتاه که اغلب حاوی ماکل ساده با تیغه‌ی میانی (شکل۲ ب)، ترکیب شیمی آمفیبول‌ها از نوع کلسیک و در رده‌بندی آمفیبول‌های نوع کلسیک در گستره‌ی مگنزوهورنبلند قرار می‌گیرند (شکل۳ ب) [۲۰]. بیوتیت در مقادیر کمتر نسبت به آمفیبول‌ها و با فراوانی ۵-۲٪ به‌صورت ورقه‌های با رخ موازی (شکل۲ پ)، ترکیب شیمی کانی بیوتیت بر اساس رده‌بندی [۲۱] در رده‌ی بیوتیت و در گستره‌ی Meroxene قرار می‌گیرد که گویای فقیر بودن بیوتیت‌ها از آلومینیوم است (شکل۲ الف). کانی‌های فرعی مهم در این سنگ‌ها شامل اسفن، آپاتیت‌های خاکستری تا بی‌رنگ (به‌صورت ادخال)، مقدار جزئی زیرکن و کانی‌های فلزی از نوع مگنتیت هستند و شامل کانی‌های ثانویه عموماً کلریت، سریسیت است. ترکیب شیمیایی کانی‌های توده‌ی گرانودیوریتی در جدول۳ نشان داده‌شده است.

توده‌ی گرانیتی شاه جهان در بررسی میکروسکوپی شامل کانی‌های پلاژیوکلاز شکل‌دار تا نیمه‌شکل‌دار با فراوانی ۴۵ تا ۵۵٪، ارتوز نیمه‌شکل‌دار با بافت پرتیت و با فراوانی ۳۵ تا ۴۵٪، کوارتز بی‌شکل با فراوانی بیش از ۲۰٪، کانی‌های مافیک بیوتیت و آمفیبول با فراوانی کمتر از ۱۰٪، کانی‌های فرعی تیتانیت و مگنتیت نیز در این سنگ‌ها حضور دارند (شکل۲ الف). در رده‌بندی مدی اغلب نمونه‌های این توده در گستره‌ی گرانیت قرار می‌گیرند.

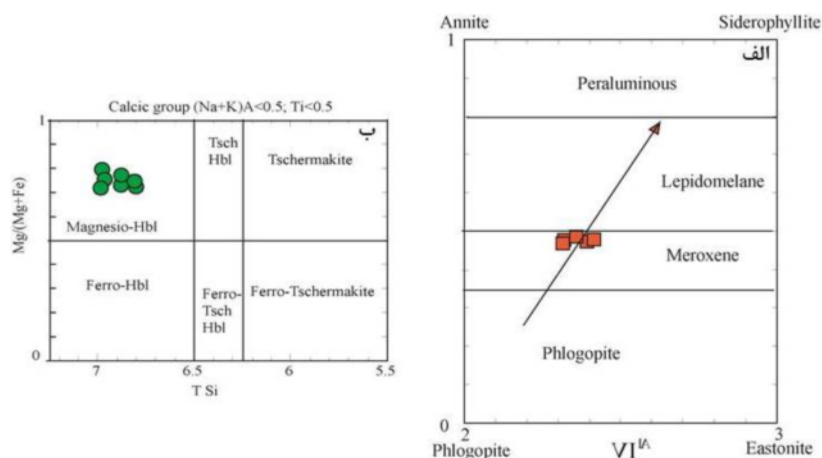
بررسی‌های ایزوتوپ Nd-Sr و تعیین سن با روش Ar-Ar بیوتیت

مقادیر ایزوتوپ $^{87}Sr/^{86}Sr$ و $^{143}Nd/^{144}Nd$ از دو نمونه‌ی سنگی توده‌های گرانودیوریتی و گرانیتی و برای تعیین خاستگاه اولیه‌ی توده‌ها مشخص شده است. مقدار ایزوتوپ $^{87}Sr/^{86}Sr$ اولیه در توده‌ی گرانودیوریتی ۰٫۷۰۴۴۸۶ و در توده‌ی گرانیتی ۰٫۷۰۴۴۳۲، و مقدار ایزوتوپ $^{143}Nd/^{144}Nd$ اولیه در توده‌ی گرانودیوریتی ۰٫۵۱۲۷۹۴ و در توده‌ی گرانیتی ۰٫۵۱۲۷۷۶ تعیین شده است. مقدار εNd در این توده‌ها با استفاده از فرمول زیر محاسبه شده است (جدول ۱):

1. British Columbia University
2. Laboratory of Electron Microscopy and Microanalysis
3. Inductively Coupled Plasma
4. Institute of Geological Sciences Faculty of Science Masaryk University-Czech Republic
5. Amdel Australia



شکل ۲ الف) تصویر میکروسکوپی از توده‌ی گرانیتی شاه جهان با بافت دانه‌ای و کانی‌های کوارتز، پلاژیوکلاز، فلدسپار پتاسیم، بیوتیت و آمفیبول (نور XPL)، ب) تصویر میکروسکوپی سنگ‌های گرانودیوریت توده‌ی نفوذی شاه جهان با بافت دانه‌ای و کانی‌های کوارتز، پلاژیوکلاز، فلدسپار پتاسیم و آمفیبول (نور XPL)، پ) نمایش کانی بیوتیت در سنگ‌های گرانودیوریتی توده‌ی نفوذی شاه جهان (نور XPL) (علائم استفاده در شکل: Pl: پلاژیوکلاز، Qtz: کوارتز، Kfs: فلدسپار پتاسیم، Am: آمفیبول، Bt: بیوتیت).



شکل ۳ الف) رده‌بندی کانی‌های بیوتیت بر مبنای شیمی آن‌ها در توده‌ی نفوذی گرانودیوریتی شاه جهان [۲۱]، ب) رده‌بندی کانی‌های آمفیبول توده‌ی نفوذی گرانودیوریتی شاه جهان [۲۰] (علامت مربع قرمز: به کانی بیوتیت و علامت دایره سبز: به کانی آمفیبول در توده گرانودیوریتی وابسته است).

جدول ۱ نتایج آنالیز ایزوتوپ Sr-Nd، نمونه A-36 از توده‌ی نفوذی گرانودیوریتی شاه جهان و نمونه A-15 از توده‌ی نفوذی گرانیتی شاه جهان آنالیز شده است.

نمونه ها	$^{87}Sr/^{86}Sr$	$^{86}Sr/^{88}Sr$	$^{143}Nd/^{144}Nd$	$^{145}Nd/^{144}Nd$	$^{146}Nd/^{144}Nd$	Sr norm	2SE	Sm/143Nd	Nd norm	2SE
A-36	۰/۷۰۴۵۰۱	۰/۱۱۹۵	۰/۵۱۲۷۹۴	۰/۳۴۸۴۰۳	۰/۷۲۰۵	۰/۷۰۴۴۸۶	۰/۰۰۰۰۰۸	۰/۲۹۲۴	۰/۵۱۲۸۰۰	۰/۰۰۰۰۰۷
A-18	۰/۷۰۴۴۴۶	۰/۱۱۹۶	۰/۵۱۲۷۷۶	۰/۳۴۸۴۱۲	۰/۷۲۳۱	۰/۷۰۴۴۳۲	۰/۰۰۰۰۰۸	۰/۲۹۱۳	۰/۵۱۲۸۰۰	۰/۰۰۰۰۰۸

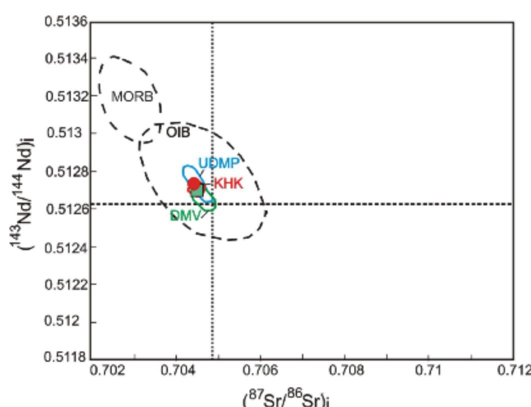
$$\varepsilon Nd = [(^{143}Nd/^{144}Nd)_s / (^{143}Nd/^{144}Nd)_{CHUR} - 1] \times 10000$$ (معادله شماره ۱)

در معادله‌ی شماره ۱ مقدار $(^{143}Nd/^{144}Nd)_s$ حاصل بررسی ایزوتوپی توده‌ی گرانودیوریتی و توده‌ی گرانیتی شاه جهان است (مقدار $(^{143}Nd/^{144}Nd)_{CHUR}$ = ۰/۵۱۲۶۳۸) مقدار $^{143}Nd/^{144}Nd$ در کندریت از هامیلتون و همکاران [۲۲] اقتباس شده است. مقدار εNd در توده‌ی نفوذی گرانودیوریتی ۳/۰۴۳ و در توده‌ی نفوذی گرانیتی ۲/۶۹۲ تعیین شد. مقدار مثبت εNd حاکی از این است که ماگمای این توده‌ها در ارتباط با ذوب بخشی پوسته‌ی اقیانوسی و به یک محیط فرورانشی وابسته بوده است [۱]. در شکل ۴ نتایج آنالیز ایزوتوپی توده‌های نفوذی گرانودیوریتی و گرانیتی شاه جهان نمایش داده شدند این نتایج با داده‌های ایزوتوپی آتشفشانی اورمیه –دختر [۲۳] و ماگماتیسم دماوند [۲۴] و ماگماتیسم خان کندی که توسط [۲۵] ارائه شد مقایسه شده است. نتایج حاصل از آنالیز ایزوتوپی توده‌های گرانودیوریتی و گرانیتی شاه جهان، و توده‌های خان‌کندی در یک گستره قرار می‌گیرند و با توجه به جایگاه توده‌های خان کندی نسبت به شاه جهان می‌توانند خاستگاه مشترکی را که در ارتباط با محیط‌های فرورانشی است، داشته باشند. موقعیت جغرافیایی توده‌ی خان‌کندی در (شکل ۱ پ) نشان داده شده است.

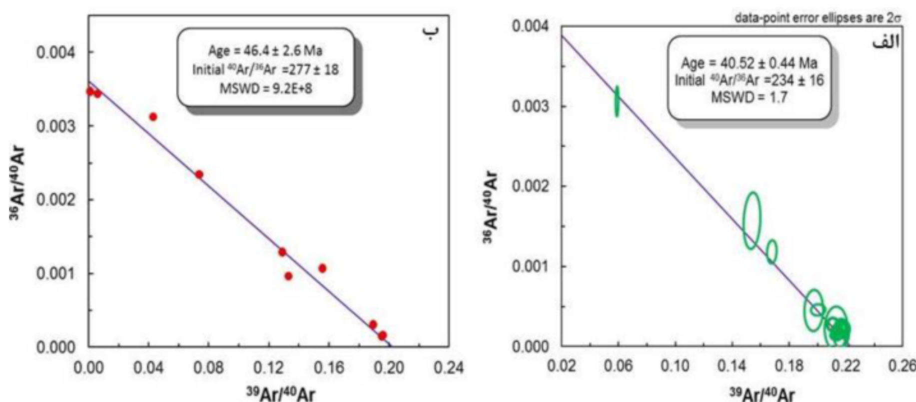
بر مبنای داده‌های تعیین سن بروش Ar-Ar روی کانی بیوتیت، سن توده‌ی گرانودیوریتی شاه جهان ۰/۴۴ ± ۴۰/۵۲ میلیون سال و توده گرانیتی سنی معادل ۲/۶ ± ۴۶/۴ میلیون

سال نشان داده‌اند که به توده‌های نفوذی ائوسن در منطقه‌ی البرز-آذربایجان (ارسباران) وابسته‌اند (شکل ۵) (جدول ۲).

در بررسی شیمی سنگ کل توده‌های گرانودیوریت و گرانیت شاه جهان، فراوانی کوارتز توده‌های نفوذی گرانودیوریتی و گرانیتی شاه جهان از ۶۴٫۶۶ تا ۷۲٫۴۰ درصد وزنی تغییر می‌کند و دارای (۲٫۶۰-۲٫۰۹ wt%) اکسید پتاسیم، (۴٫۶۴-۵٫۰۱ wt%) اکسید سدیم و (۱۴٫۷۹-۱۶٫۹۶ wt%) اکسید آلومینیوم بوده و در مقادیری کمتر، دارای اکسیدهای منگنز (۰٫۰۱-۰٫۰۶)، منیزیم (۰٫۱۴-۰٫۳۳)، کلسیم (wt% ۲٫۷۷-۴٫۸۰)، فسفر (wt% ۰٫۰۶-۰٫۱۳) و تیتانیم (wt% ۰٫۲۳-۰٫۴۲) هستند (جدول ۳). در نمودارهای هارکر، با افزایش اکسید SiO_2 مقادیر اکسیدهای Fe_2O_3, MgO, P_2O_5 و TiO_2 روند کاهشی Fe_2O_3, MgO تبلور تفریقی کانی‌های مافیک مثل بیوتیت و آمفیبول در این توده‌هاست. روند کاهشی TiO_2 گویای گریزندگی بالای اکسیژن در محیط است. اکسیدهای Al_2O_3، Na_2O، K_2O نسبت به SiO_2 روند تبلور عادی نشان نمی‌دهند و می‌تواند ناشی از تاثیر گرمابها در منطقه باشد. الگوی REE با میانگین $(La/Lu)_N$ برای توده‌ی نفوذی گرانودیوریتی ۱۱٫۶۱ و برای توده‌ی گرانیتی (۱۵٫۹۵-۱۹٫۵۵) است. LREE با نسبت $(La/Sm)_N$ = (۴٫۱۱) در توده‌ی گرانودیوریتی و نسبت $(La/Sm)_N$ = (۶٫۶۳-۸٫۵۵) توده گرانیتی دارای غنی شدگی مشخص LREE نسبت به HREE با مقادیر $(Gd/Lu)_N$ =(۱٫۲۷-۱٫۶۲) توده‌ی گرانودیوریتی و $(Gd/Lu)_N$ = (۱٫۶۸) توده‌ی گرانیتی است. مقدار (۰٫۷۱-۰٫۹۹) = (Eu/Eu^*) گویایی نبود جدایش پلاژیوکلازها است (شکل ۶ الف و جدول ۴) [۲۶،۲۷].



شکل ۴ نمودار نسبت مقادیر ایزوتوپ‌های ناپایدار اولیه‌ی $^{87}Sr/^{86}Sr$ نسبت به ایزوتوپ‌های ناپایدار اولیه‌ی $^{143}Nd/^{144}Nd$. *UDMP*، مربوط به توده‌های آداکیتی پس از برخورد میوسن زون ارومیه –دختر [۲۳]، *DMV*، مربوط به ولکانیسم دماوند زون البرز مرکزی [۲۵]، *KHK*، مربوط به توده‌های پلوتونیکی خان کندی [۲۵]. مقدار مثبت εNd در نمونه‌های گرانودیوریتی و گرانیتی شاه جهان و قرار گیری آن‌ها در گستره‌ی مشابه با توده‌های نفوذی وابسته به فرورانشی، گویای این است که جای‌گیری این توده‌ها به محیط‌ها فرورانشی وابسته است (دایره به‌رنگ سرخ به نمونه توده‌ی گرانیتی شاه جهان و مربع سبز به توده گرانودیوریتی شاه جهان وابسته است).



شکل ۵ الف) نمودار ایزوکرون تعیین سن توده‌ی نفوذی گرانودیوریتی شاه جهان، سن به‌دست آمده برای توده‌ی گرانودیوریتی ۰٫۴۴ ± ۴۰٫۵۲ میلیون سال است. ب) نمودار ایزوکرون تعیین سن توده نفوذی گرانیتی شاه جهان، سن به‌دست آمده برای توده گرانیتی ۲٫۶ ± ۴۶٫۴۰ میلیون سال است.

جدول ۲ نتایج آنالیز سن‌سنجی آرگون-آرگون، نمونه A-36 از توده نفوذی گرانودیوریتی شاه جهان و نمونه‌ی A-18 از توده نفوذی گرانیتی شاه جهان آنالیز شده است.

	Laser	Isotope Ratios							
نمونه ها	*Power (%)*	*40Ar/39Ar*	*ı□*	*37Ar/39Ar*	*ı□*	*36Ar/39Ar*	*ı□*	*Age*	2□
A-36-1	۲٫۹۰ W	۶٫۵۳	۰٫۱۰	۰٫۱۰	۰٫۰۱	۰٫۰۱۰	۰٫۰۰۱	۳۱٫۶۵	±۵٫۲۱
A-36-2	۳٫۲۰ W	۵٫۹۹	۰٫۰۵	۰٫۰۷	۰٫۰۰۳	۰٫۰۰۷	۰٫۰۰۰۳	۳۵٫۲۰	±۲٫۰۱
A-36-3	۳٫۹۰ W	۵٫۰۲	۰٫۰۵	۰٫۰۲	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۲	۰٫۰۰۰۱	۳۹٫۱۵	±۱٫۱۵
A-36-4	۴٫۲۰ W	۴٫۷۹	۰٫۰۳	۰٫۰۴	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۰۱	۳۹٫۶۸	±۰٫۹۹
A-36-5	۴٫۵۰ W	۴٫۶۴	۰٫۰۳	۰٫۰۵	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۰۱	۳۹٫۰۱	±۰٫۸۹
A-36-6	۴٫۸۰ W	۴٫۷۳	۰٫۰۳	۰٫۰۳	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۰۱	۴۰٫۲۱	±۰٫۹۳
A-36-7	۵٫۱۰ W	۴٫۶۸	۰٫۰۳	۰٫۰۳	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۰۱	۴۰٫۲۴	±۰٫۸۳
A-36-8	۵٫۴۰ W	۴٫۷۳	۰٫۰۳	۰٫۰۴	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۰۱	۴۰٫۹۰	±۰٫۸۳
A-36-9	۵٫۷۰ W	۴٫۷۳	۰٫۰۳	۰٫۰۵	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۰۱	۴۰٫۸۹	±۰٫۸۱
A-36-10	۶٫۰۰ W	۴٫۷۱	۰٫۰۳	۰٫۰۶	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۰۱	۴۰٫۳۷	±۱٫۰۳
A-36-11	۶٫۳۰ W	۵٫۱۰	۰٫۰۷	۰٫۰۵	۰٫۰۰۴	۰٫۰۰۲	۰٫۰۰۱	۳۹٫۸۵	±۳٫۰۷
A-36-12	۶٫۳۰ W	۴٫۷۲	۰٫۰۷	۰٫۰۸	۰٫۰۰۴	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۱	۳۹٫۷۳	±۳٫۰۶
A-36-13	۶٫۶۰ W	۴٫۶۵	۰٫۰۵	۰٫۰۹	۰٫۰۱	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۰۳	۳۹٫۸۶	±۲٫۰۱
A-18-1	۳٫۰۰ W	۶٫۴۵	۰٫۰۶	۰٫۱۴	۰٫۰۰۲	۰٫۰۰۶	۰٫۰۰۰۱	۴۱٫۳۷	±۱٫۳۷
A-18-2	۳٫۶۰ W	۵٫۱۵	۰٫۰۵	۰٫۰۸	۰٫۰۰۲	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۰۰۳	۴۶٫۱۱	±۰٫۸۷
A-18-3	۴٫۰۰ W	۵٫۱۳	۰٫۰۵	۰٫۲۷	۰٫۰۰۵	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۰۰۲	۴۵٫۶۸	±۰٫۹۲
A-18-4	۴٫۶۰ W	۵٫۳۱	۰٫۰۳	۰٫۲۷	۰٫۰۰۶	۰٫۰۰۲	۰٫۰۰۰۰۴	۴۵٫۱۶	±۰٫۵۳
A-18-5	۵٫۱۰ W	۷٫۵۴	۰٫۰۷	۰٫۷۴	۰٫۰۲	۰٫۰۰۷	۰٫۰۰۰۳	۵۰٫۴۸	±۲٫۱۸
A-18-6	۵٫۹۰ W	۷٫۷۷	۰٫۰۶	۱٫۸۸	۰٫۰۴	۰٫۰۱۰	۰٫۰۰۰۲	۴۵٫۰۹	±۱٫۶۴
A-18-7	۶٫۶۰ W	۷٫۴۸	۰٫۰۶	۱٫۳۸	۰٫۰۴	۰٫۰۰۸	۰٫۰۰۰۳	۴۹٫۶۸	±۲٫۰۵
A-18-8	۷٫۰۰ W	۱۳٫۶۰	۰٫۱۹	۲٫۹۱	۰٫۰۷	۰٫۰۳۲	۰٫۰۰۳	۳۹٫۳۵	±۱۷٫۸۸

جدول ۳ نتایج آنالیز ریز پردازش الکترونی کانی‌های توده‌ی گرانودیوریتی شاه جهان. (به‌علت محدودیت تعداد صفحات، نتایج آنالیز چند نقطه در جدول آورده شده‌اند)، علائم خط چین در جدول نشان دهنده‌ی عدم حضور اکسید در آنالیز کانی است.

نمونه ها	A-15	A-36	A-15	A-36	A-36	A-36	A-36	A-36
کانی ها	آمفیبول		بیوتیت		فلدسپار پتاسیم	پلاژیوکلاز	مگنتیت	تیتانیت
درصد وزنی اکسیدها								
SiO_2	۴۸٫۱۶	۴۶٫۳۸	۳۶٫۸۶	۳۷٫۱۹	۶۵٫۳۱	۵۸٫۶۰	۰٫۰۲۱	۰٫۰۹
Al_2O_3	۶٫۳۰	۷٫۶۹	۱۴٫۰۳	۱۳٫۹۴	۱۸٫۴۷	۲۶٫۱۲	۰٫۰۳	۰٫۰۲۶
BaO	۰٫۰۷	۰٫۰۳۸	-----	-----	۰٫۰۹	۰٫۰۰	-----	-----
P_2O_5	۰٫۰۰۴	۰٫۰۱۶	-----	-----	۰٫۰۰۱	۰٫۰۱	-----	-----
K_2O	۰٫۵۵	۰٫۷۸	۹٫۴۴	۹٫۵۴	۱۵٫۳۴	۰٫۱۸	-----	-----
Na2O	۱٫۱۳	۱٫۱۲	۰٫۳۱	۰٫۲۴	۱٫۰۸	۶٫۷۶	-----	-----
CaO	۱۱٫۱۲	۱۱٫۹۰	۰٫۰۱۵	۰٫۰۲۱	۰٫۰۰۶	۸٫۲۲	۰٫۰۱۵	۰٫۰۹۹
FeO	۱۴٫۷۵	۱۶٫۵۵	۱۹٫۱۹	۱۸٫۹۹	۰٫۱۳	۰٫۲۵	۱۰۴٫۴۸	۳۶٫۵۹
SrO	-----	-----	-----	-----	۰٫۱	۰٫۰۹	-----	-----
MgO	۱۳٫۹۵	۱۲٫۴۰	۱۱٫۸۶	۱۱٫۵۶	-----	-----	-----	۰٫۱۸۵
Cr_2O_3	۰٫۰۲	۰٫۰۱۲	۰٫۰۱۱	-----	-----	-----	۰٫۰۷۱	۰٫۰۰۳
TiO_2	۱٫۰۸	۱٫۲۸	۴٫۶۹	۴٫۶۶	-----	-----	۰٫۱۲۱	۴۹٫۹۷
MnO	۰٫۶۴	۰٫۷۵۸	۰٫۴۸	۰٫۴۵	-----	-----	۰٫۱۰۴	۱۱٫۵۷
NiO	۰٫۰۷۷	۰٫۰۱۴	-----	------	-----	-----	۰٫۰۰۳	-----
V_2O_3	۰٫۰۴۲	۰٫۰۶۲	۰٫۰۶۴	۰٫۰۷۶	-----	-----	۰٫۴۷۴	۰٫۰۵
Cl	۰٫۰۸	۰٫۱۲	۰٫۰۸	۰٫۰۷۶	-----	-----	-----	-----
ZnO	-----	-----	-----	-----	-----	-----	۰٫۰۱۹	۰٫۱۰۹
F	۰٫۱۹۷	۰٫۱۶۱	۰٫۲۵۵	۰٫۲۵۲	-----	-----	-----	-----

جدول ۴ نتایج آنالیز ICP سنگ کل توده‌های گرانودیوریتی و گرانیتی شاه جهان.

نمونه ها	A-15	A-36	A-19	A-18	A-20
	نمونه های توده نفوذی گرانودیوریتی			**نمونه های توده نفوذی گرانیتی**	
Major Oxides Wt %					
SiO_2	۶۵٫۶۶	۶۴٫۶۶	۷۲٫۳۹	۷۲٫۴۰	۷۱٫۵۸
TiO_2	۰٫۴۲	۰٫۴۲	۰٫۲۳	۰٫۲۳	۰٫۲۳
Al_2O_3	۱۶٫۷۴	۱۶٫۹۶	۱۵٫۷۴	۱۴٫۷۹	۱۵٫۰۹
TFe_2O_3	۴٫۰۶	۴٫۰۶	۲٫۶۲	۲٫۳۴	۲٫۵۰
MnO	۰٫۱۰	۰٫۱۰	۰٫۰۶	۰٫۰۶	۰٫۰۶
MgO	۱٫۱۴	۱٫۴۰	۰٫۳۳	۰٫۳۳	۰٫۳۳
CaO	۴٫۷۸	۴٫۸۰	۲٫۸۸	۲٫۷۷	۲٫۸۴
Na_2O	۴٫۶۴	۴٫۶۴	۵	۴٫۷۹	۵٫۰۱
K_2O	۲٫۱۳	۲٫۰۹	۲٫۶۰	۲٫۵۱	۲٫۵۲
P_2O_5	۰٫۱۳	۰٫۱۳	۰٫۰۷	۰٫۰۶	۰٫۰۷
LOI	۰٫۵۸	۰٫۵۸	۰٫۱۷	۰٫۱۷	۰٫۱۸
TOTAL	۱۰۰٫۳۸	۹۹٫۸۴	۱۰۲٫۰۹	۱۰۰٫۴۵	۱۰۰٫۴۱
		Rare-earth element (ppm)			
La	۱۹٫۵۰	۱۹٫۵۰	۱۴٫۶	۱۴٫۷	۱۴٫۵
Nd	۱۶٫۲۰	۱۷٫۲۰	۷٫۶۶	۷٫۳۸	۸٫۴۶
Gd	۲٫۴۵	۲٫۴۵	۱٫۰۵	۱	۱٫۱۵
Yb	۱٫۱۵	۱٫۱۷	۰٫۵	۰٫۴۵	۰٫۵۵
Ce	۳۵٫۳۰	۳۵٫۳۰	۲۱٫۳	۲۰٫۴	۲۰٫۷
Sm	۳٫۰۶	۳٫۰۶	۱٫۴۲	۱٫۲۴	۱٫۴۴
Tb	۰٫۳۶	۰٫۳۶	۰٫۱۴	۰٫۱۴	۰٫۱۶
Er	۱٫۲۰	۱٫۲۰	۰٫۵	۰٫۴۵	۰٫۵۵
Lu	۰٫۱۸	۰٫۱۸	۰٫۰۸	۰٫۰۸	۰٫۰۸
Pr	۴٫۴۵	۴٫۴۵	۲٫۲	۲٫۱	۲٫۴۵
Eu	۰٫۹۲	۰٫۹۲	۰٫۵	۰٫۴۶	۰٫۵
Dy	۲٫۱۸	۲٫۱۸	۰٫۹۴	۰٫۸۲	۰٫۹۶
Tm	۰٫۲۰	۰٫۲۰	۰٫۱	۰٫۰۵	۰٫۱
		Trace-element (ppm)			
Ba	۸۱۶	۸۱۶	۸۵۶	۸۹۱	۹۰۵
Y	۱۱٫۷۰	۱۲٫۷۰	۵٫۸	۵٫۷	۵٫۶
Th	۵	۶	۳٫۹	۳٫۷	۳٫۷
Zn	۷۷	۷۷	۵۵	۴۹	۴۶
V	۷۰	۷۰	۴۰	۳۵	۳۵
Cs	۱	۱	۰٫۸	۰٫۸	۰٫۸
Co	۶٫۹۰	۶٫۹۰	۲٫۷	۲٫۳	۲٫۴
Rb	۴۹٫۸۰	۴۸٫۸۰	۵۶٫۴	۵۸٫۸	۵۴٫۸
Zr	۱۱	۱۰	۷	۷	۷
Pb	۹	۱۰	۱۴	۱۱	۱۲
Cu	۱۳	۱۳	۲۰	۱۸	۱۸
Cr	۱۳	۱۳	۲۰	۱۸	۱۸
Sc	۶	۶	۲	۲	۲
Li	۶٫۵۰	۶٫۵۰	۱۰٫۵	۱۰	۸
Sr	۶۲۹	۶۳۹	۴۸۲	۴۸۸	۵۰۳
Nb	۷	۷	۵	۵	۴٫۵
Ni	۵	۵	۵	۲	۲
Hf	۰٫۷۰	۰٫۷۰	۰٫۴	۰٫۳	۰٫۳
Be	۵۰	۵۰	۵۰	۵۰	۵۰

بی‌هنجاری منفی Nb و Ti در نمودارهای بهنجار شده، می‌تواند برای توده‌های نفوذی گرانیتی و گرانودیوریتی شاه جهان نشان دهنده‌ی شکل‌گیری توده‌های نفوذی در مناطق فرورانشی باشد [۲۸] (شکل ۶ ب).

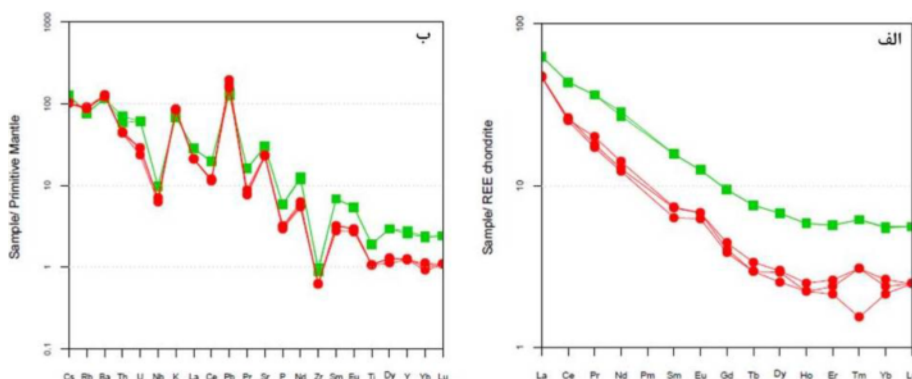
در رده‌بندی سنگ‌های آذرین بر مبنای درصد وزنی، اکسیدهای $Na_2O + K_2O$ نسبت به SiO_2 از نمودار [۲۹] نمونه‌های وابسته به توده‌ی نفوذی گرانودیوریتی و توده‌ی

گرانیتی شاه جهان در گستره‌های گرانودیوریت و گرانیت قرار می‌گیرند (شکل۷ الف).

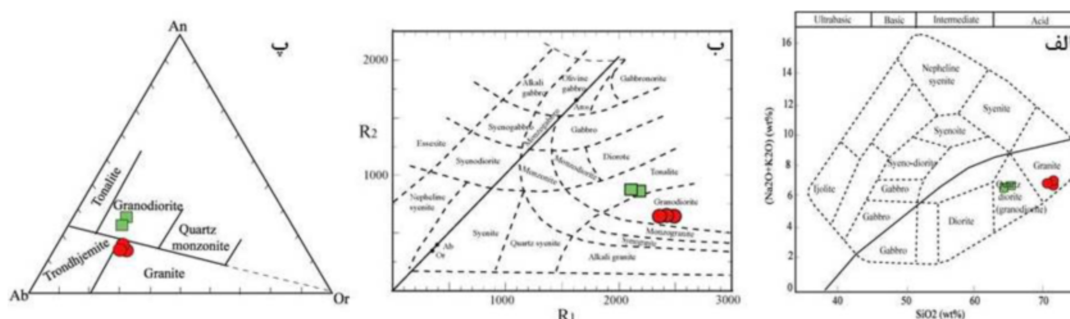
در رده‌بندی بر مبنای کاتیون‌ها در نمودار R_1-R_2، به‌دلیل فراوانی کانی‌های فرومنیزین در این توده‌ها و تاثیر مقادیر Mg ,Ca , Fe در رده‌بندی کاتیون‌های R_1-R_2 نمونه‌های وابسته به توده‌ی گرانودیوریت در گستره‌ی تونالیت و نمونه‌های توده‌ی گرانیتی در گستره‌ی گرانودیوریت قرار می‌گیرند [۳۰] (شکل۷ ب)، ولی در رده‌بندی بر مبنای کانی‌های بهنجار در نمودار [۳۱]، نمونه‌های گرانودیوریتی و گرانیتی شاه جهان در گستره‌ی گرانودیوریت و گرانیت قرار می‌گیرند (شکل۷ پ). برای جدایش اشباع از آلومینیوم، انواع گرانیتوئیدها از محاسبات ضریب اشباع از آلومینیوم [۳۲،۲۸] استفاده شد که توده‌های نفوذی گرانودیوریتی و گرانیتی شاه جهان با مقدار (A/CNK<1.1) و در گستره‌ی نوع I قرار می‌گیرند (شکل ۸ الف). از نظر سری ماگمایی، توده‌های نفوذی گرانودیوریتی و گرانیتی شاه جهان در نمودار دوتایی K_2O-SiO_2 [۳۳] و نمودار سه تایی FeO_t - (Na_2O + K_2O) - MgO در گستره‌ی آهکی- قلیایی قرار گرفته [۳۴] (شکل۸ ب، پ) و توده‌های نفوذی گرانیتی و گرانودیوریتی شاه جهان در نمودارهای جدایش محیط زمین‌ساختی Rb - (Nb + Yb)، Rb - Y در گستره‌ی قوس آتشفشانی قرار می‌گیرند (شکل ۹ الف، ب) [۳۵].

تعیین سری ماگمایی و محیط زمین‌ساختی توده نفوذی گرانودیوریتی شاه جهان بر مبنای شیمی کانی‌ها

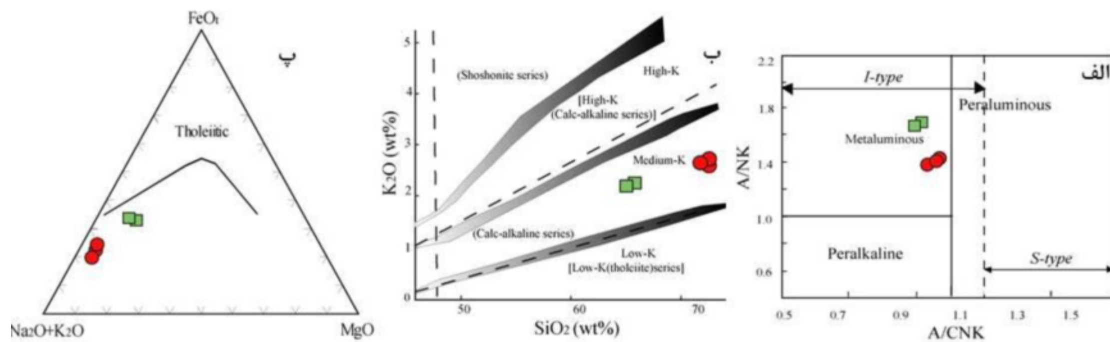
سری ماگمایی توده‌ی گرانودیوریتی شاه جهان، با استفاده از رده‌بندی سری ماگمایی بر مبنای شیمی کانی بیوتیت عبدالرحمن [۷] در نمودارهای FeO-MgO-Al_2O_3 و Al_2O_3-MgO در گستره‌ی C و آهکی- قلیایی که به محیط‌های فرورانشی وابسته‌اند، قرار می‌گیرند (شکل۱۰ الف، ب).



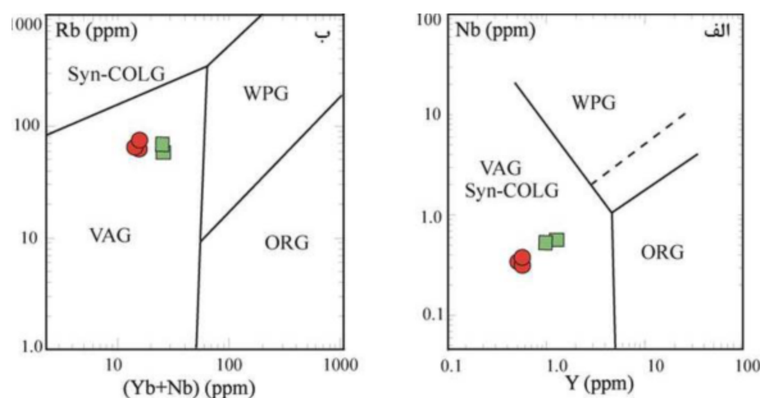
شکل ۶ الف) نمودار تغییرات عناصر نادر خاکی توده‌های گرانیتی بهنجار شده نسبت به کندریت‌ها [۲۶]، ب) نمودار تغییرات عناصر ناسازگار بهنجار شده نسبت به گوشته‌ی اولیه [۲۷]، این نمودارها گویای تشابه تغییرات ژئوشیمی توده‌های گرانیتی و گرانودیوریتی شاه جهان هستند که نشان‌دهنده‌ی هم ماگما بودن این توده‌هاست (رنگ سبز مربوط به توده‌های گرانودیوریتی و رنگ قرمز مربوط به توده‌های گرانیتی شاه‌جهان است).



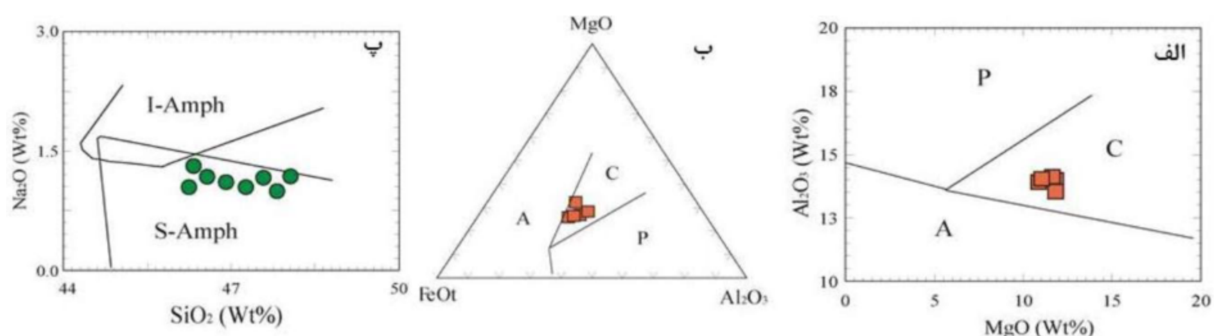
شکل ۷ الف) نمودار نامگذاری سنگ‌های آذرین بر مبنای اکسیدهای $K_2O + Na_2O$ نسبت به SiO_2، اقتباس از [۲۹]، ب) نمودار رده‌بندی سنگ‌های آذرین برمبنای کاتیون‌های $R_1 = 4Si - 11(Na + K) -2(Fe + Ti)$ نسبت به $R_2 = 6Ca + 2Mg + Al$ اقتباس از [۳۰]، پ) نمودار نامگذاری برمبنای کانی‌های نورماتیو [۳۱]. در این نمودارها نمونه‌های توده‌های گرانیتی و گرانودیوریتی از یکدیگر تفکیک می‌شوند (شکل مربع سبز مربوط به توده گرانودیوریتی و شکل دایره قرمز مربوط به توده نفوذی گرانیتی شاه جهان است).



شکل ۸ الف) نمودار تعیین شاخص آلومینیوم اقتباس از [۳۲] و خط چین برای تعیین نوع گرانیتوئیدها اقتباس از [۲۸] در این نمودار نمونه‌های هر دو توده‌ی گرانیتی و گرانودیوریتی در گستره‌ی شبه رخشان قرار می‌گیرند. ب) نمودار دوتایی K_2O-SiO_2 برای تعیین سری ماگمایی [۳۳] در این نمودار، نمونه‌های هر دو توده‌ی گرانیتی و گرانودیوریتی در گستره‌ی ماگماهای آهکی- قلیایی قرار می‌گیرند، پ) نمودار سه تایی FeO_t - ($Na_2O + K_2O$) - MgO برای تعیین سری ماگمایی [۳۴] در این نمودار، نمونه‌های هر دو توده‌ی گرانیتی و گرانودیوریتی در گستره‌ی ماگمای آهکی- قلیایی قرار می‌گیرند (مربع سبز مربوط به توده‌ی گرانودیوریتی و دایره سرخ به توده نفوذی گرانیتی شاه جهان وابسته‌اند).



شکل ۹ الف) نمودار Nb-Y تعیین محیط زمین‌ساختی اقتباس از [۳۵]، ب) نمودار Rb-(Yb + Nb) تعیین محیط زمین‌ساختی اقتباس از [۳۵]. در این نمودارها هر دو توده‌ی گرانیتی و گرانودیوریتی در گستره محیط‌های فرورانشی قرار می‌گیرند (مربع سبز به توده‌ی گرانودیوریتی و دایره سرخ به توده‌ی نفوذی گرانیتی شاه جهان وابسته اند).



شکل ۱۰ الف) نمودار دوتایی Al_2O_3-MgO جدایش سری ماگمایی گرانیت‌ها بر اساس ترکیب شیمیایی بیوتیت اقتباس از [۷]. ب) نمودار سه تایی MgO-Al_2O_3-FeO_t ترکیب شیمیایی بیوتیت، پ) نمودار جدایش محیط زمین‌ساختی فرورانشی (نوع S-Amph) و درون صفحه‌ای (نوع I-Amph) بر مبنای شیمی کانی آمفیبول اقتباس از [۸] (مربع سرخ: مربوط به کانی بیوتیت و دایره‌ی سبز: به کانی آمفیبول در توده‌ی گرانودیوریتی وابسته‌اند).

با استفاده از رده‌بندی محیط زمین‌ساختی بر مبنای شیمی کانی آمفیبول، کلوتوری و همکاران [۸]، کانی آمفیبول توده‌ی نفوذی گرانودیوریتی شاه جهان، در گستره‌ی (S-Amph) که وابسته‌به محیط‌های فرورانشی است، قرار می‌گیرند (شکل ۱۰ پ).

زمین دما-فشارسنجی توده نفوذی گرانودیوریتی شاه جهان بر مبنای شیمی کانی‌های بیوتیت و آمفیبول

دماسنجی هورنبلند_ پلاژیوکلاز

هورنبلند و پلاژیوکلاز دو کانی مناسب برای دماسنجی توده-های نفوذی گرانیتوئیدی هستند به شرطی که شرایط یاد شده توسط محققینی مثل [۱۱-۱۴] در سنگ‌های گرانیتوئیدی وجود داشته باشد. شرایط شامل دما در گستره‌ی ۹۰۰-۴۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد و آمفیبول‌هایی با ترکیب $Na_{(A)}$>۰٫۲۰pfu، $Al^{(IV)}$<۱٫۸ pfu، Si در گستره‌ی pfu ۷٫۷-۶ و پلاژیوکلاز با X_{An}<۰٫۹ باشد. با توجه به اینکه تمام شرایط یاد شده و پاراژنزها در مورد توده نفوذی گرانودیوریتی شاه جهان وجود دارد، لذا از این دماسنجی برای تعیین دما و فشار جایگیری توده‌ی گرانودیوریتی شاه جهان استفاده شد. دمای جایگیری توده با روش‌های مختلف دماسنجی انجام شده و در این پژوهش، نتایج حاصل از دماسنج T(ed-ri)[6] [۱۱] به دلیل اینکه پارامترهای مختلفی را در دماسنجی دخالت داده است مورد استفاده قرار گرفته است. با این روش، دمای جایگیری توده‌ی ۷۷۷-۷۵۳ درجه‌ی سانتی‌گراد مشخص شده است و نیز نتایج دماسنج‌های دیگر برای جهت مقایسه با دماسنج T(ed-ri) [۱۱] در (جدول ۵) آورده شده‌اند.

فشارسنجی آلومینیوم در هورنبلند

بررسی‌های تجربی گویای این است که در یک تشکیل دوگانه سنگ‌های خاص، مقدار آلومینیوم در آمفیبول کلسیک در طول تبلور توده‌ی نفوذی می‌تواند رابطه‌ی خطی با فشار داشته باشد [۱۵،۱۳]. شرایط لازم برای استفاده از فشارسنجی آلومینیوم در هورنبلند حضور کانی‌های کوارتز، پلاژیوکلاز، فلدسپار پتاسیم، بیوتیت، هورنبلند، تیتانیت و مگنتیت در سنگ است [۹،۱۰، ۱۲-۱۴]. همچنین شرط لازم دیگر برای استفاده از فشارسنجی آلومینیوم در هورنبلند این است که باید در آنالیز ریز پردازشی، کانی هورنبلندی آنالیز شود که در برخوردگاه با کوارتز یا فلدسپار پتاسیم باشد [۱۴]. شرایط یاد شده در مورد توده‌ی گرانودیوریتی شاه جهان در نظر گرفته شده است.

در این پژوهش، برای تعیین فشار جایگیری توده‌ی نفوذی گرانودیوریتی شاه جهان، از روش مدرج کردن [۹] استفاده شده است و کلیه روش‌های مختلف محاسبات فشار، برای مقایسه با روش مدرج کردن [۹] در جدول ۵ آورده شده‌اند. فشار به کار رفته در این پژوهش، برای توده نفوذی شاه جهان بین ۱٫۰۸ تا ۱٫۹۱ کیلوبار بوده است.

فشارسنجی آلومینیوم در بیوتیت

میزان آلومینیوم موجود در کانی بیوتیت نیز توسط اوچیدا [۱۶] برای تعیین فشار جایگیری توده‌های نفوذی گرانیتوئیدی معرفی شده است. در توده‌ی نفوذی شاه جهان، برای مقایسه فشار جایگیری توده‌ی نفوذی با روش‌های فشارسنجی آمفیبول، از این روش نیز استفاده شده است. نتایج فشارسنجی حاصل از این روش، فشار جای‌گیری توده‌ی شاه جهان را بین ۱٫۴ تا ۱٫۶ کیلوبار نشان می‌دهد که در گستره‌ی فشار محاسبه شده با روش فشارسنجی آمفیبول قرار می‌گیرد (جدول ۶).

برداشت

توده‌ی گرانیتی و گرانودیوریتی شاه جهان بخشی از توده‌ی گرانیتوئیدی اردوباد بوده که در شمال غرب ایران و در ۱۰ کیلومتری جنوب رودخانه‌ی مرزی ارس و در منطقه‌ی ساختاری البرز- آذربایجان برونزد دارد. توده گرانودیوریتی دارای بافت دانه‌ای و شامل کانی‌های روشن کوارتز نیمه شکل-دار تا بی‌شکل، پلاژیوکلاز شکل‌دار با ترکیب شیمیایی آندزین (X_{Ab} = ۰٫۵۹ - ۰٫۶۲)، فلدسپار پتاسیم شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار با ترکیب شیمیایی ارتوز و شامل کانی‌های مافیک آمفیبول با ترکیب شیمیایی منگنز و هورنبلند و بیوتیت، دارای کانی‌های فرعی اسفن شکل‌دار و کانی‌های کدر از نوع مگنتیت است. توده‌ی نفوذی گرانیتی با بافت‌های دانه‌ای و پرتیتی و شامل کانی‌های روشن کوارتز نیمه‌شکل‌دار تا بی‌شکل،

6. edenite-richterite

جدول ۵ نتایج زمین دما- فشارسنجی توده‌ی نفوذی گرانودیوریتی شاه جهان، علائم استفاده شده در جدول Plag Ab: مقادیر نسبی [Na/(Na + Ca + K)]، Amph Al (Total): تعداد کاتیون‌های آلومینیوم محاسبه شده در ساختار اتمی هورنبلند، T(ed-ri): دمای محاسبه شده با کاربرد روش دماسنج (edenite-richterite) از [۱۱]، P-H&Z: فشار محاسبه شده بر حسب کیلوبار با استفاده از روش [۱۰]، P-Sch: فشار محاسبه شده بر حسب کیلوبار با استفاده از روش [۱۳]، P-J&R: فشار محاسبه شده با استفاده از روش [۱۲]، P-A&S: فشار محاسبه شده با استفاده از روش [۹]. دمای و فشار استفاده شده در این پژوهش به‌صورت تیره در جدول نشان داده شده‌اند و بقیه دما-فشارسنج‌ها برای مقایسه آورده شده‌اند.

نمونه ها	Plag Ab	Amph Al (Total)	**T(ed-ri) (° C)**	P-H&Z (Kbar)	P-Sch (Kbar)	*P-J&R* (Kbar)	***P-A&S* (Kbar)**
A-15	۰/۵۹	۱/۰۹۵	**۷۶۱**	۱/۵۹	۲/۲	۱/۱۷	**۱/۰۸**
A-15	۰/۶۰	۱/۳۴۰	**۷۷۱**	۲/۸۲	۳/۳۷	۲/۲۱	**۱/۹۱**
A-15	۰/۵۹	۱/۲۷۰	**۷۷۷**	۲/۴۷	۲/۰۴	۱/۹۱	**۱/۵۱**
A-15	۰/۶۱	۱/۱۲۸	**۷۵۳**	۱/۷۵	۲/۳۶	۱/۳۱	**۱/۳۶**
A-36	۰/۶۲	۱/۱۸۴	**۷۶۷**	۲/۰۴	۲/۶۳	۱/۱۸	**۱/۴۱**
A-36	۰/۵۹	۱/۲۰۱	**۷۶۵**	۲/۱۲	۲/۷۱	۱/۲۰	**۱/۵۱**
A-36	۰/۶۱	۱/۲۸۸	**۷۷۶**	۲/۵۶	۳/۱۲	۱/۲۸	**۱/۶۶**

جدول ۶ نتایج فشارسنجی آلومینیوم بر مبنای تعداد کاتیون‌های آلومینیوم در کانی بیوتیت بر مبنای فشارسنجی [۱۶].

بارومتر آلومینیوم در بیوتیت [۱۶].						
نمونه ها	A-15	A-15	A-15	A-36	A-36	A-36
Al-in- biotite	۲/۶۷۷	۲/۶۶۱	۲/۶۲۲	۲/۵۶۱	۲/۶۶۴	۲/۶۸۳
P (Kbar)	۱/۵۸	۱/۵۳	۱/۴۱	۱/۲۳	۱/۵۴	۱/۶

پلاژیوکلاز شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار، فلدسپار پتاسیم با بافت پرتیت، آمفیبول با فراوانی کمتر نسبت به توده‌ی نفوذی گرانودیوریتی، بیوتیت، اسفن و مگنتیت است. فراوانی کانی‌های فلدسپار پتاسیم در توده‌ی نفوذی گرانیتی نسبت به توده‌ی نفوذی گرانودیوریتی بیشتر است.

نسبت ایزوتوپ ناپایدار $^{87}Sr/^{86}Sr$ اولیه در توده‌ی گرانودیوریتی ۰/۷۰۴۴۸۶ و در توده‌ی گرانیتی ۰/۷۰۴۴۳۲ و مقدار εNd در این توده‌ها مثبت است که گویای خاستگاه گوشته‌ای در محیط‌های فرورانشی است. بر مبنای داده‌های سال‌سنجی بروش Ar-Ar، روی کانی بیوتیت، سن توده‌ی گرانودیوریتی ۰/۴۴ ± ۴۰/۵۲ میلیون سال و توده‌ی گرانیتی ۲/۶ ± ۴۶/۴ میلیون سال به‌دست آمده‌اند که به توده‌های نفوذی ائوسن شمال غرب ایران، زون البرز –آذربایجان وابسته‌اند. در نمودارهای هارکر، روند کاهشی CaO, MgO, Fe_2O_3، گویای تبلور جدایشی کانی‌های مافیک مثل بیوتیت و آمفیبول است. از نظر شاخص شاند، این توده‌ها شبه رخشان و جزء گرانیت‌های نوع I و از نظر سری ماگمایی آهکی- قلیایی هستند. بی‌هنجاری‌های منفی Nb و Ti در نمودارهای بهنجار شده، می‌تواند حاکی از شکل‌گیری توده‌های نفوذی در مناطق فرورانشی باشد. LREE با نسبت $(La/Sm)_N$ = (۴/۱۱) در توده‌ی گرانودیوریتی و نسبت $(La/Sm)_N$ = (۶/۶۳-۸/۵۵) در توده‌ی گرانیتی، دارای غنی‌شدگی مشخص نسبت به HREE با مقادیر $(Gd/Lu)_N$ = (۱/۲۷-۱/۶۲) و $(Gd/Lu)_N$ = (۱/۶۸) در توده‌ی گرانیتی است که نشان‌دهنده‌ی شکل‌گیری ماگما در عمق زیاد است. مقدار (Eu/Eu* = ۰/۷۱-۰/۹۹) در توده‌های نفوذی گرانودیوریتی و گرانیتی شاه جهان، حکایت از عدم

جدایش پلاژیوکلازها دارد. بر مبنای شیمی کانی‌های بیوتیت، توده‌ی نفوذی گرانودیوریتی شاه جهان به مناطق فرورانشی، سری آهکی- قلیایی و از نوع گرانیت‌های نوع I وابسته است. همچنین آمفیبول آن‌ها از نوع (S-Amph) بوده و گویای شرایط تشکیل در محیط‌های فرورانشی گرانیت‌هاست. توده‌ی نفوذی گرانودیوریتی شاه جهان، دارای پاراژنز مناسب (Qtz + Pl + Kfs + Amph + Bt + Tit + Opq) برای استفاده از زمین دما- شیمی‌های مختلف آمفیبول و بیوتیت استفاده شده. محیط فیزیکوشیمیایی این توده، بر مبنای بررسی‌های زمین دما- شیمی، در گستره‌ی فشار ۱/۰۸ تا ۱/۹۱ کیلوبار و در گستره‌ی دمای ۷۵۳ تا ۷۷۷ درجه‌ی سانتی‌گراد تعیین شد.

مراجع

[1] Hassanpour Sh., Alirezaei S., Selby D., Sergeev S., "*SHRIMP zircon U-Pb and biotite and hornblende Ar-Ar geochronology of Sungun, Haftcheshmeh, Kighal, and Niaz porphyry Cu-Mo systems: evidence for an early Miocene porphyry-style mineralization in northwest Iran*", International journal of earth sciences 104 (2015) 45-59.

[۲] حسن پور ش.، "*متالوژی کانسارهای مس پورفیری و طلای اپی ترمال در زون ارسباران (شمال غرب کشور)*"، پایان نامه دکتری، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی (۱۳۸۹).

[3] Castro A., Aghazadeh M., Badrzadeh Z., Chichorro M., "*Late Eocene–Oligocene post-collisional monzonitic intrusions from the Alborz magmatic belt, NW Iran. An example of monzonite magma generation from a metasomatized mantle source*", Lithos 180–181 (2013) 109–127.

[۴] مهرپرتو م.، امامی م.ه.، میرزائی م .، و علائی س.، "*نقشه زمین شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ سیه رود*"؛ سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور (۱۳۷۶).

[5] Azizi H., Jahangiri A., "*Cretaceous subduction-related volcanismin the north- ern Sanandaj-Sirjan Zone, Iran*", Journal of Geodynamics 45 (2008) 178–190.

[6] Azizi H., Moinevaziri H., "*Review of the tectonic setting of Cretaceous to Quaternary volcanism in northwestern Ira*n", Journal of Geodynamics 47 (2009) 167–179.

[7] Abdel-Rahman A., "*Nature of Biotites from Alkaline, Calc-alkaline, and Peraluminous Magmas*", Journal of petrology 35 (1994) 525-541.

[8] Coltorti M., Bondaiman C., Faccini B., Grégoire M., O'Reilly S.Y., Powell W., "*Amphiboles from suprasubduction and intraplate lithospheric mantle*", Lithos 99 (2007) 68-84.

[9] Anderson J.L., Smith D.R., "*The effects of temperature and fO_2 on the Al-in-hornblende barometer*", American Journal of Science 80 (1995) 549-559.

[10] Hammarstrom J.M., Zen E., "*Aluminum in hornblende: An empirical igneous geobarometer*", American Journal of Science 71 (1986) 1297-1313.

[11] Holland T., Blundy J., "*Non-ideal interactions in calcic amphiboles and their bearing on amphibole-plagioclase thermometry*", Contributions to Mineralogy and Petrology 116 (1994) 433-447.

[12] Johnson M.C., Rutherford M.J.,"*Experimental calibration of the aluminum-in-hornblende geobarometer with application to Long Valley Caldera (California) volcanic rocks*", Geology 17 (1989) 837-841.

[13] Schmidt M.W., "*Amphibole composition in tonalite as a function of pressure: An experimental calibration of the Al-in-hornblende barometer*", Contributions to Mineralogy and Petrology 110 (1992) 304-310.

[14] Stein E., Dietl C., "*Hornblende thermobarometry of granitoids from the Central Odenwald (Germany) and their implications for the geotectonic development of the Odenwald*", Mineralogy and Petrology 72 (2001) 185-207.

[15] Thomas W.M., Ernst W.G., "*The aluminium content of hornblende in calc-alkaline granitic rocks: A mineralogic barometer calibrated experimentally to 12kbar: In: Spencer R.J. and*

Chou I.M (Eds.), Fluid-mineral interactions: A tribute to HP Eugster", The Geochemical Society Special Publication 2 (1990) 59–63.

[16] Uchida E., Endo S., Makino M., "*Relationship between Solidification Depth of Granitic Rocks and Formation of Hydrothermal Ore Deposits*", Resource Geology 57 (2007) 47–56.

[۱۷] اسماعیلی د.، طباخ شعبانی ا. ع.، نجار ح.، رضایی م.، *"استفاده از شیمی کانی آمفیبول در بررسی ویژگی های اگمایی و سازنده و زمین دما-فشارسنجی توده های گرانیتوئیدی شمال غرب ساوه، ایران مرکزی"*، مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، شماره ۲۱ (۱۳۹۲) ص ۴۱۷-۴۳۰.

[۱۸] طهماسبی ز.، خلیلی م.، احمدی خلجی ا.، مکی زاده م.، *"مقایسه انواع آمفیبول ها و ژئوترموباورمتری توده نفوذی آستانه (زون سنندج-سیرجان)"*، مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، شماره ۱۷ (۱۳۸۸) ص ۲۷۹-۲۹۰.

[۱۹] قدمی غ.، مرادیان شهر بابکی ع.، مرتضوی س. م.، *"زمین دا-فشارسنجی و کانی شناسی توده های نفوذی اسیدی الیگو-میوسن شمال غرب شهر بابک، کرمان"*، مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران، شماره ۲۲ (۱۳۹۳) ص ۵۴۳-۵۵۶.

[20] Leake B.E., "*On aluminous and edenitc amphiboles*", Mineralogical Magazine 38 (1971) 389–407.

[21] Deer W. A., Howie A., Sussman J., "*An interdiction to rock- forming minerals*", 17th. Longman Ltd (1986) 528p.

[22] Hamilton P.J., Evensen N.M., O'Nions R.K., Smith H.S., and Erlank A.J., "*Sm-Nd dating of Onverwach group volcanics, southern Africa*", Nature 279 (1979) 28-300.

[23] Shafiei B., Haschke M., Shahabpour J., "*Recycling of orogenic arc crust triggers porphyry Cu mineralization in Kerman Cenozoic arc rocks, southeastern Iran*", Mineralium Deposita 44 (2009) 265–283.

[24] Liotard J.M., Dautria J.M., Bosch D., Condomines M., Mehdizadeh H., Ritz J.-F., "*Origin of the absarokite–banakite association of the Damavand volcano (Iran): trace elements and Sr, Nd, Pb isotope constraints*", International Journal of Earth Sciences 97 (2008) 89–102.

[25] Aghazadeh M., Castro A., Omran N.R., Emami M.H., Moinvaziri H., Badrzadeh Z., "*The gabbro (shoshonitic)–monzonite–granodiorite association of Khankandi pluton, Alborz Mountains, NW Iran*", Journal of Asian Earth Sciences 38 (2010) 199–219.

[26] Boynton W.V., "*Consmochemistry of the rare earth elements meteorite stud-ies. In: Henderson, P. (Ed.), Rare Earth Element Geochemistry*", Elsevier Sciences, Amsterdam (1984) 63–114.

[27] Thompso R.N., "*Magmatism of the British Tertiary volcanic province*", Scottish Journal of Geology 18 (1982) 9–107.

[28] Chappell B.W., White A.J.R., "*I- and S-type granites in the Lachlan fold belt. Transactions of the Royal Society of Edinburgh*", Earth Sciences 83 (1992) 1–26.

[29] Cox K g., Bell J. D., Pakhurst R. J., "*The interpretation of igneous rocks Allen and unwin*", London (1979) 450p.

[30] De La Roche h., Leterrier J., Grandclaude P., Marchal M., "*A classification of volcanic and plutonic rocks using R_1-R_2 diagrams and major element analyses, its relationship and current nomenclature*", Chemical Geology 29 (1980) 183-210.

[31] Barker F., "*Teronhjamite definition, environment and hypotheses of origin, in Teronhjamites, dacites and related rocks*", edited by F Barker., Elsevier Science Publication Amsterdam (1979) 1-12.

[32] Maniar P.D., Piccoli P.M., "*Tectonic discrimination of granitoids*", Geological Society of American Bulletin 101 (1989) 635–643.

[33] Le Maitre R.W., Bateman P., Dubek A., Keller J., Lameyre J., Le Bas M.J., Sabine P.A., Schmid R., Sřensen H., Streckeisen A., Woolley A.R., Zanettin B., "*A classification of igneous rocks and glossary of terms. Recommendations of the International Union of Geological Sciences Subcommission on the Systematics of Igneous Rocks*", Blackwell, Oxford (1989) 193.

[34] Irvine T.N., Baragar W.R.A., "*Aguide to the chemical classification of the common volcanic rocks*". Canadian Journal of Earth Sciences 8 (1971) 523-548.

[35] Pearce J.A., Harris N.B.W., Tindle A.G., "*Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks*", Journal of Petrology 25 (1984) 956–983.